

# 安达生态塘系统细菌的季节性变化规律

杨长福<sup>1,2</sup>, 王爱杰<sup>2</sup>, 张颖<sup>1</sup>, 王宝贞<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学 资源环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 哈尔滨 150090, E-mail: waj0578@hit.edu.cn)

**摘要:** 为了对安达生态塘污水处理系统中细菌的季节性变化进行定性和定量分析, 结合生态塘中水质条件和运行参数, 分析安达生态塘系统中细菌随季节和工艺条件变化的波动性和分布规律。结果表明, 季节性温度变化对厌氧塘入口和兼性塘出口处细菌总数的影响不大, 对兼性塘入口细菌总数影响较大, 同一季节生态塘中各处理单元细菌总数呈下降趋势; 对 3 个时期种属组成相似性分析表明兼性塘中的细菌组成正随着水质条件和气候条件而动态变化。

**关键词:** 生态塘; 细菌数量; 细菌种群组成; 相似性分析

**中图分类号:** U416 **文献标识码:** A **文章编号:** 0367-6234(2008)02-0333-04

## Seasonal variation of bacteria in Anda eco-pond system

YANG Chang-fu<sup>1,2</sup>, WANG Ai-jie<sup>2</sup>, ZHANG Ying<sup>1</sup>, WANG Bao-zhen<sup>2</sup>

(1. School of Resource and Environment, Northeast Agriculture University, Harbin 150030, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China, E-mail: waj0578@hit.edu.cn)

**Abstract:** In order to investigate the relationship between the variation in bacterial community structures and the operating conditions of eco-pond process, functional bacteria distribution and shift during different seasons in Anda eco-pond were detected qualitatively and quantitatively. The results show that in Anda eco-pond, the amount of bacteria in the inlet of anaerobic pond and in the outlet of anoxic pond has little seasonal variation, but great seasonal variation occurs in the inlet of anoxic pond. The amount of bacteria in one season decreases gradually from the inlet of anaerobic pond to the outlet of anoxic pond. And the analysis for similarity coefficient ( $C_s$ ) of bacterial community in the different seasons indicates that water quality and season shift greatly affect the bacterial community structure and their transformation.

**Key words:** eco-pond; the amount of bacteria; community structure of bacteria; similarity coefficient

安达生态塘位于安达市北郊<sup>[1]</sup>, 是一个多级塘-湿地生态处理系统, 主要用于大庆石化公司乙烯生产废水二级生物处理后的净化存储, 工艺流程见图 1。其中厌氧塘和兼性塘主要依靠细菌-藻类共生体系去除污染物, 其后的好氧塘和芦苇湿地除了依靠细菌-藻类共生体系外还包括水生植物 (主要是芦苇)、水产 (如鱼、虾) 和水禽 (如鸭、鹅) 等去除污染物<sup>[2]</sup>。目前, 对生态塘的研究

主要集中在工艺运行条件和污染物的去除机理方面<sup>[3~6]</sup>, 很少涉及对在该过程中起主要作用的微生物的研究, 而对微生物的研究也多针对藻类和原生动物, 对细菌的研究鲜有报道<sup>[7~9]</sup>。细菌作为生态塘中起主导作用的分解者, 任何不利于细菌生长繁殖的环境因素都会影响到生态塘的净化效率<sup>[10]</sup>。因此, 对生态塘系统进行细菌数量和组成的研究尤为重要。本文对安达生态塘污水处理系统中细菌的季节性变化进行定性和定量分析 (细菌计数和鉴定), 结合生态塘中水质条件和运行参数, 分析安达生态塘系统中细菌随季节和工艺条件变化的波动性和分布规律, 以期为我国北方地区生态塘特别是冬季生态塘的高效稳定运行提

收稿日期: 2006-04-10

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (2005800612)。

作者简介: 杨长福 (1982—), 男, 硕士;

王爱杰 (1972—), 女, 教授, 博士生导师;

王宝贞 (1932—), 男, 教授, 博士生导师。

供参考.



图 1 安达生态塘污水处理系统工艺流程图

## 1 材料与方法

### 1.1 采样

采样时间选在 2004 年 12 月和 2005 年的 1 月、2005 年 8 月和 9 月、2005 年 10 月,分别代表冬夏秋 3 个季节;采样点选在厌氧塘入口、兼性塘入口、兼性塘出口 3 点.物化指标采表层水,生物指标采相同点的底泥.用无菌碘量瓶取样后放入自制保温箱(内置冰),12 h 内带回实验室分析.

### 1.2 物化指标分析

水样先用 0.45 μm 定性滤纸过滤,根据国家标准方法(GB 18918 - 2002)对滤过液进行相关的化学分析. pH、DO 和温度用携带 SenTix41 探头的 WTW MultiLine P3 pH/Oxi meter 仪器进行测定.

### 1.3 生物指标分析

细菌计数采用倍比稀释法后平板培养计数,细菌鉴定时将兼性塘入口和兼性塘出口污泥样品等质量(按干污泥记)混合后进行分离纯化、鉴定(采用形态学和生理生化试验)<sup>[11,12]</sup>.

## 2 试验结果

### 2.1 生态塘污水处理系统的运行效果

#### 2.1.1 对主要污染物的去除效果

进入安达生态塘的废水来自大庆石化总厂的二级处理构筑物, COD 质量浓度范围 76.5 ~ 124.5 mg/L,平均质量浓度为 99.76 mg/L,处理效果见文献[13].总体上,从厌氧塘到兼性塘, COD 平均去除率为 35%,兼性塘出水最高质量浓度为 98 mg/L,平均为 72.06 mg/L.石化废水中氮磷含量较低,生态塘进水中氨氮最大质量浓度为 30.8 mg/L,平均值为 17.46 mg/L,其他氮素如 NO<sub>2</sub>-N 和 NO<sub>3</sub>-N 质量浓度更低,总磷和可溶性磷平均值分别在 1 ~ 1.5 mg/L;在兼性塘出水中氨氮最高质量浓度为 23.1 mg/L,平均值为 18.48 mg/L, NO<sub>2</sub>-N 和 NO<sub>3</sub>-N 最高质量浓度分别为 1.1 mg/L 和 4.7 mg/L,总磷和可溶性磷最高质量浓度分别为 1.58 mg/L 和 0.7 mg/L.由于在安达生态塘污水处理系统中,经过厌氧塘和兼性塘处理后排到好氧塘中的污水就已经 100% 达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918 - 2002)执行中的二级排放标准,因此,

对生物相分析也只关注厌氧塘和兼性塘.

#### 2.1.2 生态塘污水处理系统 pH、DO、温度的变化规律

由图 2 可以看出:厌氧塘进水的 pH 低于兼性塘进水和兼性塘出水,三者的平均值分别为 7.38、7.62、7.66,夏季 pH 高于秋冬季.各取水口 DO 随着水质条件的改善逐渐升高,平均值分别为 1.94 mg/L、6.68 mg/L、7.62 mg/L;厌氧塘进水和兼性塘出水季节性变化不大,分别维持在 2 mg/L 和 8 mg/L 左右,而兼性塘进水季节性变化较大,夏季明显高于秋冬季节也高于同时期的兼性塘出水.生态塘中温度的变化受季节的影响较大,8 月和 9 月高于 10 月、高于 12 月和 1 月,此外同一时期厌氧塘进水口高于兼性塘进水口(厌氧塘出水口)、高于兼性塘出水口,三者的季节性波动程度也依次增大.

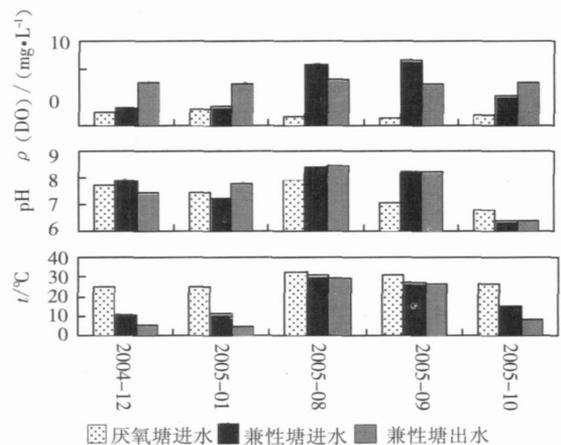


图 2 生态塘中 DO、pH 和温度的季节性变化

### 2.2 生态塘中细菌的动态变化

#### 2.2.1 生态塘中细菌数量的动态变化

如图 3 所示,厌氧塘进水和兼性塘出水中细菌总数的季节性变化并不明显,分别在 10<sup>6</sup> 个/mL 和 10<sup>5</sup> 个/mL 左右;兼性塘进水中细菌总数季节性波动很大,从 10<sup>5</sup> 个/mL 到 10<sup>7</sup> 个/mL,夏秋季节的细菌总数明显高于冬季,在 2005 年 10 月时达到最高,为 4.9 × 10<sup>7</sup> 个/mL.从总体上看,自厌氧塘进水到兼性塘出水细菌数量具有明显的下降趋势;虽然在兼性塘进水的个别时期(9 月和 10 月)细菌数量有所上升,但在兼性塘出水时细菌数量都下降到 10<sup>6</sup> 个/mL 以下.

#### 2.2.2 生态塘中细菌组成的动态变化

在氧化塘各级处理系统中,通常认为兼性塘中虽然细菌总数小于厌氧塘,但生物多样性应该

大于厌氧塘,同时大于好氧塘<sup>[14,15]</sup>。因此,对不同时期兼性塘中的细菌进行分类鉴定,考察兼性塘中细菌组成的动态变化。

由表 1 可见,3 个时期分别监测到 8 个、7 个和 8 个属,在 3 个时期都存在的细菌为芽孢杆菌属 (*B revibacterium*)、产碱杆菌属 (*A licaligenes*) 和假单胞菌属 (*Pseudomonas*) 3 个属。

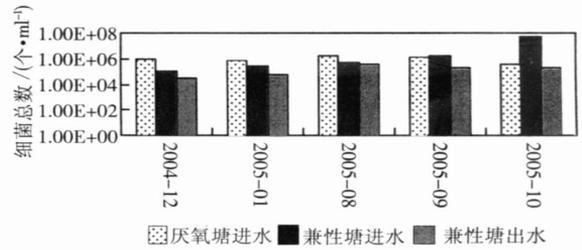


图 3 生态塘中细菌数量的季节性变化

表 1 不同季节兼性塘中的细菌种群组成

时间	主要细菌种类
2005 - 08	不动细菌属 ( <i>Acinetobacter</i> )、短杆菌属 ( <i>B revibacterium</i> )、芽孢杆菌属 ( <i>B acillus</i> )、产碱杆菌属 ( <i>A licaligenes</i> )、微杆菌属 ( <i>M icrobacterium</i> )、假单胞菌属 ( <i>Pseudomonas</i> )、动胶菌属 ( <i>Zoogloea</i> )、埃希氏菌属 ( <i>Escherichia</i> )
2005 - 09	微杆菌属 ( <i>M icrobacterium</i> )、短杆菌属 ( <i>B revibacterium</i> )、假单胞菌属 ( <i>Pseudomonas</i> )、产碱杆菌属 ( <i>A licaligenes</i> )、芽孢杆菌属 ( <i>B acillus</i> )、不动细菌属 ( <i>Acinetobacter</i> )、动胶菌属 ( <i>Zoogloea</i> )
2005 - 10	黄杆菌属 ( <i>Flavobacterium</i> )、产碱杆菌属 ( <i>A licaligenes</i> )、假单胞菌属 ( <i>Pseudomonas</i> )、芽孢杆菌属 ( <i>B acillus</i> )、未知属、芽孢八叠球菌属 ( <i>Sporosarcina</i> )、土壤杆菌属 ( <i>Agrobacterium</i> )、邻单胞菌属 ( <i>Plesiomonas</i> )

不同时期种属组成相似性分析,用 Sorenson 配对比较相似性系数 ( $C_s$ ) 进行。公式如下:

$$C_s = \frac{2j}{(a + b)} \times 100$$

式中:  $a$ 、 $b$  分别是 2 种不同条件下种属组成的数目,  $j$  是在 2 种不同条件下共有的种属数目<sup>[16]</sup>。比较结果如表 2 所示。

表 2 不同时期兼性塘中种属组成相似性  $C_s$  分析 %

时间	$C_s$ 值		
	2005 - 08	2005 - 09	2005 - 10
2005 - 08	100	93.33	37.5
2005 - 09	93.33	100	40
2005 - 10	37.50	40	100

### 3 讨 论

厌氧塘入口细菌总数的季节性变化并不明显,造成这种结果可能有两个原因:首先是各季节污染物质量浓度变化不大,COD 在 76.5 ~ 124.5 mg/L,厌氧塘中的污染物作为细菌的营养物质直接决定着细菌数量的多少;此外温度也是一个主要原因,由于厌氧塘塘体较深(有效水深为 3.5 m),进水具有一定的温度(平均 28.04 °C),加之进水采用底部进水方式使水体充分混合,导致厌氧塘入口处的水温季节性变化不大,维持在 24.8 到 32.7 °C,即使在冬季水体温度也维持在 24 °C 以上,可以满足多数细菌的正常

生长繁殖和代谢。

兼性塘入口细菌总数季节性波动很大,夏秋季节明显高于冬季,至少在一个数量级以上,这种趋势与图 2 中温度的变化趋势相近,说明温度的变化对其影响较大。这是由于兼性塘的塘体相对厌氧塘较浅,在冬季虽然厌氧塘的进水温度相对较高,但到达兼性塘时温度已经降到 10 °C 左右,如图 2 值得注意的是,兼性塘入口细菌总数在 2005 年 10 月时最高。虽然此时 COD 相对其他时期并非最高,温度也不是最适,但水体中 pH 为 6.4 相对更接近中性,氮磷质量浓度也较其他时期高,更适合微生物的生长和繁殖。此外推测这也可能与兼性塘中作为细菌捕食者的原生动物随着秋季的来临而大量死亡有关。由于没有监测原生动物相关数据,有待于进一步验证。

通过图 3 可以看出,不同季节生态塘中各处理单元细菌总数逐渐降低,这种趋势与污染物质量浓度变化的趋势相近。这说明随着污染物的去除,生态塘中细菌数量急剧下降。

对 3 个时期种属组成相似性分析发现 8 月和 9 月相似性较高,两者与 10 月的结果相似性较差,分析认为虽然 8 月、9 月和 10 月 3 个时期水中污染物质量浓度相差不大,但 8 月和 9 月的 pH、DO 和温度条件更为接近,且比 10 月高,此外,图 3 表明兼性塘中 8 月和 9 月的细菌总数与 10 月相比也相差较大。但是也看到一个趋势,即 9 月与 10 月的相似性要大于 8 月与 10 月末的相似

性,虽然这种趋势很不明显.这说明兼性塘中的细菌组成正随着水质条件和气候条件而动态变化.

## 4 结 论

1)该污水处理系统,经过厌氧塘和兼性塘处理后排到好氧塘中的污水就已经完全达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918 - 2002)执行中的二级排放标准,运行效果良好.

2)在安达生态塘中季节性变化对厌氧塘入口处和兼性塘出口处细菌总数的影响不大,对兼性塘入口处细菌总数影响较大,同一季节生态塘中各处理单元细菌总数总体上呈下降趋势.

3)2005年8月、9月和10月3个时期在兼性塘中分别监测到8个、7个和8个属的细菌;3个时期种属组成相似性分析表明兼性塘中的细菌组成正随着水质条件和气候条件而动态变化.

4)针对北方地区的气候条件,可以考虑增加兼性塘前部的水深,即兼性塘采用前深后浅式的塘底以保持兼性塘前部的水温,维持微生物的活性,提高生态塘冬季的处理效率.

## 参考文献:

- [1] 黄梅,李小兵.我国生态塘污水处理工艺的研究与应用[J].企业技术开发,2004,23(12):20-22
- [2] 王宝贞,王琳,祁佩时.生态塘系统分析及生物种属合理组成设想[J].污染防治技术,2000,13(2):74-76
- [3] 曹蓉,王宝贞,彭剑锋.东营生态塘氮磷去除机理[J].中国环境科学,2005,25(1):88-91
- [4] 彭剑峰,王宝贞,南军,等.多级生态塘湿地系统底泥中磷的归趋模式[J].中国环境科学,2004,24(6):712-716
- [5] CONNOLLY R, ZHAO Y, SUN G, *et al* A study on the treatment of leachates from different landfill sites in a lab - scale vertical flow wetland system employing effluent recirculation[C]// 6th International Conference on Waste Stabilisation Ponds and 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control Avignon: WA, 2004
- [6] LANGERGRABER G, SLEYTR K, HABERL R, *et al* Experiences on using mineral wool filters as a drainage layer for subsurface vertical flow constructed wetlands [C]// 6th International Conference on Waste Stabilisation Ponds and 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control Avignon: WA, 2004
- [7] 高玉荣,许木启.天津汉沽生物稳定塘藻类群落变化与污水净化[J].环境科学学报,1999,19(6):672-676
- [8] 许木启,曹宏,王玉龙.原生动动物群落多样性变化与汉沽稳定塘水质净化效能相互关系的研究[J].生态学报,2000,20(2):283-287
- [9] PENA M R, SANABRIA IJ, MARA D D. Study on the dynamics of the main bacterial and archaea groups in three pilot scale anaerobic ponds for domestic wastewater treatment[C]// 6th International Conference on Waste Stabilisation Ponds and 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control Avignon: WA, 2004
- [10] 任南琪.污染控制微生物学[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002
- [11] 马放.污染控制微生物学实验[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002
- [12] 刘恭植.微生物学和微生物学检验[M].北京:人民卫生出版社,1988
- [13] 王宝贞.青肯泡石化废水生态处理系统对周围村庄地下水影响研究报告[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学水污染控制中心,2005
- [14] 马放.安达氧化塘细菌的生态分布及净化效能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,1988
- [15] 王宝贞.东北地区污水氧化塘研究[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学水污染控制中心,1990
- [16] 傅以钢. DGGE污泥堆肥工艺微生物种群结构分析[J].中国环境科学,2005,25(Supp1):98-101

(编辑 刘 彤)